

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 102 44 557.5
Anmeldetag: 25. September 2002
Anmelder/Inhaber: Continental Teves AG & Co oHG,
Frankfurt am Main/DE
Bezeichnung: Verfahren zur Verbesserung der Fahreigenschaft
eines Fahrzeugs bei teilgebremster Fahrt
IPC: B 60 T, B 62 D

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 11. September 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag


Stenschus

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Continental Teves AG & Co. OHG

20.09.02.

GP/GF/

P 10370

Dr. T. Herrmann

M. Poursedighi

H. Schafferus

J. Woywod

D. Burkhard

Verfahren zur Verbesserung der Fahreigenschaft eines Fahrzeugs bei teilgebremster Fahrt

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Verbesserung der Fahreigenschaft eines Fahrzeugs bei teilgebremster Fahrt.

Bereits seit einigen Jahren sind Fälle bekannt, bei denen Fahrzeuge einer Modellreihe im Teilbremsbereich zu einem kritischen Fahrverhalten neigen. Dieser Effekt, der u.a. auf elastokinematischen Eigenheiten des Fahrwerks beruht, kann bei ungünstigen Konstellationen zu Beeinträchtigungen des Fahrkomforts bis hin zu kritischen Situationen führen. Darüber hinaus kann es generell bei jedem Fahrzeug auf Grund unterschiedlicher Aufstandskräfte und Reibwerte oder Reibpaarungen in der Bremse (unterschiedliche Beläge) zum asymmetrischen Aufbau von Längskraftanteilen im Teilbremsbereich kommen. Das dabei entstehende Giermoment führt ähnlich wie im vorstehenden Fall zu einem unkomfortablen bis kritischen Fahrverhalten des Fahrzeuges.

Fahrzeuge mit einer derartigen Fahrwerks- oder Bremsenkonfiguration, beeinflussen das Fahrverhalten beim Bremsen dahingehend, dass das Fahrzeug während des Bremsvorganges die gewünschte Fahrspur nicht einhält. Das Fahrzeug folgt einem Kurs, der von der Fahrwerks- und/oder Bremsenkonfiguration vorgegeben wird. Man spricht dabei von einem „Schiefziehen“ des Fahrzeugs. Dieses Schiefziehen stellt zwar einen stabilen Fahrzustand dar, der aber trotzdem von der Fahrervorgabe abweicht. Mit den bisherigen Verfahren zur Bremsenoptimie-

-2-

rung kann ein solches Verhalten jedoch nicht kompensiert werden. ABS (Antiblockiersystem) zum Beispiel, eine radindividuelle Regelung, beeinflusst den Bremsdruck an einer Radbremse nach Maßgabe des Laufverhaltens dieses Rades. Die im ABS enthaltene elektronische Bremskraftverteilung (EBV) regelt automatisch den Bremsdruck der Hinterachse und hält das Fahrzeug stabil bei bestmöglicher Abbremsung der Hinterachse. EBV passt die Bremskraft der Hinterräder an diejenigen der Vorderräder an und vermeidet dadurch sowohl Unter- als auch Überbremsen der Hinterräder. EBV nutzt die Bauteile des ABS zur radindividuellen Druckmodulation der Hinterradbrem sen.

Hiermit können aber Momente um die Hochachse des Fahrzeugs nicht erzeugt werden, da die Räder jeweils nur individuell nach dem Bremsschlupf, aber nicht in Abhängigkeit von dem Fahrzeugkurs angesteuert werden.

Eine Korrektur des Zustands durch ein ESP (Elektronisches Stabilitäts Programm) erfolgt aber auch nicht, da die einen ESP-Eingriff auslösenden Bedingungen und die Regelschwellen zu spät, oder nicht erreicht werden. Diese ESP-Bedingungen und Regelschwellen könnten auch nicht entsprechend verändert oder abgesenkt werden, da der nötige Störabstand für Fehlanregelungen beibehalten werden muss.

Auch kommt es bei einem ESP-Eingriff, der in einer instabilen Fahrsituation zur Kompensation einer Drehung des Fahrzeugs um die Hochachse ein zusätzliches, der Drehung des Fahrzeugs entgegen wirkendes Giermoment erzeugt, indem individuell in einer Radbremse Bremsdruck aufgebaut bzw. abgebaut wird, zu Verzögerungsänderungen, die vom Fahrer regist-

riert werden. Weitere Nachteile sind die Befüllung des Niederdruckspeichers beim Druckabbau, sowie das Öffnen des Umschaltventils beim aktiven Druckaufbau und die damit verbundene Befüllung des Niederdruckdämpfers, was im Bremspedal spürbar ist. Darüber hinaus können in dem Bremsdruckbereich, in dem die Regelung bzw. Steuerung der Bremsanlage stattfindet, Schaltblenden der Einlassventile geschaltet sein, was zu Druckaufbaugradienten führt, die sich von den Druckaufbaugradienten von nicht geschalteten Schaltblenden unterscheiden.

Weiterhin treten bei teilgebremster (noch keine ABS Aktivität) Kurvenfahrt mit einem Kraftfahrzeug insbesondere nach dem ersten Antritt übersteuernde Fahrzeuginstabilitäten auf, die vom Fahrer zur Stabilisierung Lenkaktionen verlangen, die ihn überfordern können. Die primären Ursachen für dieses Verhalten liegen in der Radlastverlagerung in Richtung der vorderen Achse, die die Fähigkeit zur Seitenkraftübertragung tendenziell nach vorne verschiebt. In der Folge entsteht die beschriebene übersteuernde Tendenz. Dieser Effekt kann prinzipiell durch folgende Randbedingungen unterstützt werden:

- a) gebremster Zustand (Ausnutzung eines Anteils der übertragbaren Kraft bereits für die Bremskraft)
- b) ungünstige, bereits statisch vorhandene Achslastverteilung zur Vorderachse hin (eher bei frontgetriebenen Fahrzeugen)
- c) hinterachsgetriebene Fahrzeuge, da meist das Schleppmoment des Motors im überlagerten Schubzustand die Hinterachse leicht in einen schlupfenden Zustand versetzt, der wiederum einen Teil des übertragbaren Seitenkraftpotentials beansprucht

Die genannten übersteuernden Instabilitäten treten insbesondere im teilgebremsten Zustand auf, da infolge der Bremskraftverteilung in diesem Bereich kein Giermoment in die Fahrzeugstruktur eingeleitet wird, das der Übersteuertendenz entgegenwirkt. Erhöht der Fahrer dagegen den Bremsdruck weiter, so erreicht er im System Reifen/Fahrbahn die Kraftschlussgrenze und infolgedessen wird ABS aktiv. Da die übertragbare Kraft auf der kurveninneren Seite durch die eingeprägte Querdynamik geringer ist, wird ein Giermoment erzeugt, das der übersteuernden Tendenz entgegenwirkt. Daher verschwinden die Stabilitätsprobleme des Fahrzeugs meist, sobald der Fahrer den teilgebremsten Bereich überbremst.

Für Systeme, die im genannten teilgebremsten Bereich eine Fahrzeugstabilisierung erreichen wollen, bietet sich damit eine ähnliche Druckmodulation an wie sie sich bei aktivem ABS ergibt, d.h. auch bereits im teilgebremsten Bereich ein aktiver Druckabbau an den kurveninneren Rädern. Prinzipiell wird dies auch schon mit der bekannten ESP Funktion durchgeführt. Allerdings sind die folgenden Nachteile bei der ESP Regelung vorhanden:

- a) Der ESP Regler ist zu unsensibel (Eintrittsschwellen zu gross) für die oft im unteren Dynamikbereich angesiedelten übersteuernden Störungen (ungenügende Wirkung ist die Folge).
- b) Es ergibt sich ein unkomfortabler Gesamteindruck (oft notwendiger aktiver Druckaufbau mit zugehöriger Ventil- und Pumpenaktivität beeinträchtigt den Pedal- und Geräuschkomfort).

- c) Der Fahrer bekommt über die ESP Funktionslampe eine weitere Rückmeldung auch bei Eingriffen, die nur eine Fahrerassistenz darstellen.

Es wäre daher wünschenswert, unabhängig von der eine Abweichung von dem gewünschten Fahrkurs bewirkenden Ursache ein Verfahren bzw. eine Regelung zur Verfügung zu stellen, das durch gezielte Eingriffe des Bremssystems das Gieren des Fahrzeuges bei jedem Kurs und jeder Geschwindigkeit auf ein für den Fahrer komfortables bis leicht beherrschbares Maß reduziert.

In der EP 0 482 374 A1 ist eine elektro-pneumatische Bremsanlage für Nutzkraftfahrzeuge und Busse beschrieben, das einen elektrischen Bremswertgeber sowie ein elektrisches Steuergerät aufweist, das außer zur Brems-Signalverarbeitung auch noch für die Signalverarbeitung von Sensorsignalen eines Lenksystems ausgerüstet ist. Die Lenksensorsignale sollen beim bremsbewirkten Ansteuern der den Bremszylindern vorgeordneten Drucksteuerventilen zwecks Ausregeln der Lenkmomente mit berücksichtigt werden. Dabei ermittelt die Bremsanlage die Korrekturdrücke ausschließlich bei einer Geradeausfahrt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Verbesserung der Fahreigenschaft eines Fahrzeugs bei teilgebremster Fahrt zu schaffen.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch ein gattungsgemäßes Verfahren gelöst, indem eine Fahrstabilitätsregelung zum Korrigieren bzw. Regeln von Abweichungen von einer gewünsch-

ten Fahrspur so ausgebildet ist, dass der Eintritt in eine aktivierte und der Austritt aus einer aktivierten Regulationssituation in Abhängigkeit von Bedingungen, die nach Maßgabe von einer Geradeausfahrt und einer Kurvenfahrt ermittelt werden, durchgeführt wird.

Durch das Verfahren wird eine Regulationssituation abhängig davon erkannt, ob das Fahrzeug geradeaus oder in einer Kurve fährt. Erst bei erkannter Regulationssituation wird die Abweichung von der gewünschten Fahrspur des Fahrzeugs während des Bremsvorganges ermittelt und nach Maßgabe des Ermittlungsergebnisses die Abweichung zwischen der gewünschten Fahrspur und dem Spurverlauf des Fahrzeugs korrigiert, wenn die Abweichung mindestens einen Schwellenwert überschreitet. Das Verfahren soll bevorzugt in einem Fahrzeug mit einer ESP Fahrstabilitätsregelung durchgeführt werden, so dass der Schwellenwert ein modifizierter ESP Schwellenwert sein kann. Das Verfahren ermöglicht ein zuverlässiges Erkennen der zu ändernden Fahrsituation anhand der Abweichung des ESP Fahrzeugmodells, in einem neuen Bereich. Hierbei wird ein eigenständiger ESP Regler mit sensibleren Schwellen mit einer Eingriffsstrategie ohne aktiven Druckaufbau verwendet. Die Pumpenaktivierung wird fast vollständig vermieden und keine ESP Funktionslampe aktiviert. Der Regler besitzt also die Eigenschaft, frühzeitiger und weitestgehend unbemerkt vom Fahrer zu agieren. Während der gesamten Regelaktivitäten erhält der Fahrer somit vorteilhaft keine haptische, optische oder akustische Rückmeldung (Pedal, Lampe, Signalton). Weitere Vorteile des LDE Verfahrens sind:

- Robustheit gegen Fehlerkennungen bzw. Störungen.
- Optimierte Ventilaktivitäten mit dem Ziel, bedarfgerechter Einststeuerung.

Selektive Pumpenansteuerung nur im Bedarfsfall (Einbindung des Niederdruckspeicher-Modells).

Harmonische Interaktion mit anderen Subsystemen wie ESP, ABS, EBV und ESBS.

Das Verfahren weist vorteilhaft die folgenden Schritte auf: Ermitteln von internen und externen Größen und Zuständen die das Fahrverhalten und den Spurverlauf des Fahrzeugs wiedergeben, Ermitteln einer aktivierten Regelungssituation bzw. eines Eintritts in eine Regelung in Abhängigkeit von einer Geradeausfahrt oder einer Kurvenfahrt unter Einbeziehung der internen und externen Größen und Zustände, und Korrigieren bzw. Regeln von Abweichungen von einer gewünschten Fahrspur durch Einstellung bzw. Modifikation des eingesteuerten Bremsdrucks, wenn mindestens ein Schwellenwert, der nach Maßgabe der Drehung um die Hochachse des Fahrzeugs ermittelt wird, überschritten wird.

Vorteilhaft wird mit dem Low Dynamic ESP (LDE) unabhängig von der Ursache eines Schiefziehens des Fahrzeugs ein Verfahren zur Verfügung gestellt, das durch gezielte Eingriffe in die Radbremsen des Bremssystems das Gieren des Fahrzeuges bei jeder Geschwindigkeit auf ein für den Fahrer beherrschbares Maß reduziert.

Vorteilhaft ist, dass die internen und externen Größen mit Schwellenwerten verglichen werden und eine Bewertung der Zustände derart erfolgt, ob die Zustände der Fahrstabilitätsregelung aktiviert oder deaktiviert sind.

Zur Ermittlung des Ein- bzw des Austritts in eine Regelsituation, werden vorteilhaft als interne und externe Größen und

Zustände, der Lenkwinkel (δ), die Lenkwinkelgeschwindigkeit ($\dot{\delta}$), der Bremsdrucks (p_{main}), die Fahrzeuggeschwindigkeit (v), der Querneigungswinkel (α), die Querbesehleunigung (a_{ist}), der Kurvenradius und Regelungszustände einer Fahrstabilitätsregelung in Betracht gezogen.

Der Schwellenwert, der nach Maßgabe der Drehung um die Hochachse des Fahrzeugs ermittelt wird und der zum Korrigieren bzw. Regeln von Abweichungen von einer gewünschten Fahrspur durch Einstellung bzw. Modifikation des eingesteuerten Bremsdrucks überschritten werden muss, wird vorteilhaft nach Maßgabe von der Geradeausfahrt oder der Kurvenfahrt ermittelt. Vorteilhaft wird der Schwellenwert (S_{ESP}) von einer ESP Fahrstabilitätsregelung nach ESP Fahrstabilitätskriterien gebildet und bei einer Geradeausfahrt mittels eines ersten und bei einer Kurvenfahrt mittels eines zweiten Korrekturfaktors ($k_{GERADE1}$, k_{KURVE2}) modifiziert.

Als Bedingung zum Erkennen eines Eintritts in eine Regelungssituation ist vorgesehen, dass bei einer teilgebremsten Geradeausfahrt der Eintritt G_{in} in die Regelung nach der Beziehung $G_{in} = f(\delta, \dot{\delta}, p_{main}, v, \alpha)$ erfolgt, wenn eine oder mehrere der weiteren folgenden Bedingungen erfüllt sind:

ESP ist nicht aktiv

ABS ist nicht aktiv

Geradeausfahrt ist ermittelt.

Ferner ist als weitere vorteilhafte Bedingung zum Erkennen eines Eintritts in eine Regelungssituation vorgesehen, dass

bei einer teilgebremsten Geradeausfahrt der Eintritt in die Regelung erfolgt, wenn mehrere der folgenden Bedingungen erfüllt sind:

$$\delta < k \text{ Grad}, \dot{\delta} < k_1 \text{ Grad/s}, p_{\text{main}} > k_2 \text{ bar}, v > k_3 \text{ km/h},$$

$$\alpha < k_4 \text{ Grad},$$

mit den Schwellenwerten k bis k_4 .

Als weitere Bedingung zum Erkennen eines Eintritts in eine Regelungssituation ist vorgesehen, dass bei einer teilgebremsten Kurvenfahrt der Eintritt K_{in} in die Regelung nach der Beziehung $K_{in} = f(\delta, \dot{\delta}, p_{\text{main}}, v, \alpha, a_{ist})$ erfolgt, wenn eine oder mehrere der folgenden Bedingungen erfüllt sind:

Kurve ist ermittelt

$$\text{Kurvenradius} > k_{10} \text{ m, vorzugsweise} > 20 \text{ m}$$

Übersteuerung ist ermittelt

ESP ist nicht aktiv

ABS ist nicht aktiv

Bei der teilgebremsten Kurvenfahrt erfolgt der Eintritt in die Regelung bevorzugt dann, wenn mehrere der folgenden Bedingungen erfüllt sind:

$$\delta < f(v) \text{ Grad}, \dot{\delta} < k_5 \text{ Grad/s}, p_{\text{main}} > k_6 \text{ bar}, v > k_7 \text{ km/h},$$

$$\alpha < k_8 \text{ Grad}, a_{ist} > k_9 \text{ m/s}^2,$$

mit den Schwellenwerten k_5 bis k_9 und $f(v)$. Der Lenkwinkel δ muss dabei einen Schwellenwert unterschreiten, der in Abhängigkeit von der Fahrzeuggeschwindigkeit gebildet

wird. Empirische Untersuchungen führten dabei zu drei Lenkwinkel-Schwellenwerten die im Bereich zwischen 2 und 30 Grad lagen, denen Fahrzeuggeschwindigkeiten in den Bereichen von 30 bis 50 km/h, 100 bis 140 km/h und 220 bis 250 km/h zugeordnet wurden.

Als Bedingung zum Erkennen eines Austritts aus einer Regelungssituation ist vorgesehen, dass bei einer teilgebremsten Geradeausfahrt der Austritt aus dem Korrigieren bzw. Regeln von Abweichungen von einer gewünschten Fahrspur durch Einstellung bzw. Modifikation des eingesteuerten Bremsdrucks erfolgt, wenn mindestens eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:

ESP ist aktiv

ABS ist aktiv

$\delta > k_{11} \text{ Grad},$

$\dot{\delta} > k_{12} \text{ Grad / s},$

mit den Schwellenwerten k_{12} und k_{11}

Für den Fall, dass die Eintrittsbedingungen (aktivierte Regelungssituation) zwar erfüllt waren, aber dass bei einer teilgebremsten Geradeausfahrt der Austritt aus der aktivierten Regelsituation, ohne dass ein Korrigieren bzw. Regeln von Abweichungen von einer gewünschten Fahrspur stattgefunden hat, erfolgt, muss mindestens eine der folgenden weiteren Bedingungen erfüllt sein:

-11-

$$\delta > k \text{ Grad},$$

$$\dot{\delta} > k_1 \text{ Grad/s},$$

$$p_{\text{max}} < k_2 \text{ bar},$$

$$v < k_3 \text{ km/h},$$

$$\alpha > k_4 \text{ Grad},$$

eine Geradeausfahrt ist nicht ermittelt.

Als Bedingung zum Erkennen eines Austritts aus einer Regelungssituation ist vorgesehen, dass bei einer teilgebremsten Kurvenfahrt der Austritt aus dem Korrigieren bzw. Regeln von Abweichungen von einer gewünschten Fahrspur durch Einstellung bzw. Modifikation des eingesteuerten Bremsdrucks erfolgt, wenn mindestens eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:

ESP ist aktiv

ABS ist aktiv

$$\dot{\delta} > k_{12} \text{ Grad/s}.$$

Für den Fall, dass die Eintrittsbedingungen (aktivierte Regelungssituation) zwar erfüllt waren, aber dass bei einer teilgebremsten Kurvenfahrt der Austritt aus der aktivierten Regelsituation, ohne dass ein Korrigieren bzw. Regeln von Abweichungen von einer gewünschten Fahrspur stattgefunden hat, erfolgt, muss mindestens eine der folgenden weiteren Bedingungen erfüllt sein:

$\delta > f(v)$, d.h. der Lenkwinkel ist größer als ein von der Fahrzeuggeschwindigkeit abhängiger Schwellenwert,

-12-

mit linearer Interpolation zwischen diesen Stützstellen)

$$\dot{\delta} > k_{13} \text{ Grad/s,}$$

$p_{\text{max}} < k_{14}$, ggf. in Abhängigkeit von der Querbeschleunigung

$$v < k_{15} \text{ km/h,}$$

$$\alpha > k_{16} \text{ Grad,}$$

$$a_{\text{ist}} < k_{17} \text{ m/s}^2,$$

$$\text{Kurvenradius} < k_{17} \text{ m, vorzugsweise} < 20 \text{ m}$$

ESP ist nicht aktiv, {ESP Situationserkennung erkennt keine Kurvensituation (konstant oder verzögert)}

$$t_p > k_{18} \text{ s,}$$

mit den Schwellenwerten k_{13} bis k_{18} und $f(v)$.

Vorteilhaft ist, dass keine Einstellung bzw. Modifikation des Bremsdrucks erfolgt, wenn zuvor nicht die Bedingungen nach den Ansprüchen 7, 8 oder 9, 10 erfüllt sind.

Die von der Fahrstabilitätsregelung veranlassten Bremseneingriffe für das Korrigieren bzw. Regeln von Abweichungen von der gewünschten Fahrspur erfolgt vorteilhaft durch Einstellung bzw. Modifikation des eingesteuerten Bremsdrucks über eine Längskraftreduktion durch Druckabbau an mindestens einem kurveninneren Rad, vorzugsweise am kurveninneren Hinterrad. Eine vorteilhafte Weiterbildung des LED Verfahrens sieht vor, dass der Druckabbau an den beiden kurveninneren Rädern erfolgt.

Während die eingestellte Druckdifferenz an der Vorderachse nach dem Verlassen der Regelung ausgeglichen wird, bleibt die an der Hinterachse aufgebaute Druckdifferenz durch die elektronische Bremskraftverteilung (EBV) auch nach der Regelung bestehen.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird im Folgenden näher beschrieben.

Es zeigen

Fig. 1. ein Fahrzeug mit ESP Regelungssystem

Fig. 2 eine Zustandsmaschine die die aktivierten bzw. deaktivierten Regelungssituationen teilgebremste Kurvenfahrt, teilgebremste Geradeausfahrt und keine Regelungssituation verdeutlicht.

In Fig. 1 ist ein Fahrzeug mit ESP-Regelungssystem, Bremsanlage, Sensorik und Kommunikationsmöglichkeiten schematisch dargestellt. Die vier Räder sind mit 15, 16, 20, 21 bezeichnet. An jedem der Räder 15, 16, 20, 21 ist je ein Radsensor 22 bis 25 vorgesehen. Die Signale werden einer Elektronik-Steuereinheit 28 zugeführt, die anhand vorgegebener Kriterien aus den Raddrehzahlen die Fahrzeuggeschwindigkeit v ermittelt. Weiterhin sind ein Gierratensensor 26, ein Querbeschleunigungssensor 27 und ein Lenkradwinkelsensor 29 mit der Komponente 28 verbunden. Jedes Rad weist außerdem eine individuell ansteuerbare Radbremse 30 bis 33 auf. Diese Bremsen werden hydraulisch betrieben und empfangen unter

Druck stehendes Hydraulikfluid über Hydraulikleitungen 34 bis 37. Der Bremsdruck wird über einen Ventilblock 38 eingestellt, wobei der Ventilblock von elektrischen Signalen Fahrer unabhängig angesteuert wird, die in der elektronischen Steuereinheit 28 erzeugt werden. Über ein von einem Bremspedal betätigten Hauptzylinder kann von dem Fahrer Bremsdruck in die Hydraulikleitungen eingesteuert werden. In dem Hauptzylinder bzw. den Hydraulikleitungen sind Drucksensoren P vorgesehen, mittels denen der Fahrerbremswunsch erfaßt werden kann. Über eine Schnittstelle(CAN) ist die Elektronik-Steuereinheit mit dem Motorsteuergerät verbunden

Über das ESP-Regelungssystem mit Bremsanlage, Sensorik und Kommunikationsmöglichkeiten das die Ausstattungselemente

- vier Raddrehzahlsensoren
- Drucksensor (Bremsdruck im Hauptzylinder p_{main})
- Querb beschleunigungssensor (Querb beschleunigungssignal a_{ls} , Querneigungswinkel α)
- Gierratensensor (ψ)
- Lenkradwinkelsensor (Lenkwinkel δ , Lenkwinkelgeschwindigkeit $\dot{\delta}$)
- individuell ansteuerbare Radbrem sen
- Hydraulikeinheit (HCU)
- Elektronik-Steuereinheit (ECU)

aufweist, lässt sich eine Aussage über die jeweilige Fahrsituation und damit über die Ein- und Austrittsbedingungen in eine aktivierte bzw. deaktivierte Regelungssituation realisieren. Damit ist eine Hauptkomponente des LDE (Low Dynamic ESP) Verfahrens, die Fahrsituationserkennung, möglich, während die andere Hauptkomponente, die Interaktion mit dem

Bremssystem, ebenfalls auf die wesentlichen Komponenten des ESP Regelungssystems zurückgreift. In der Situationserkennung wird anhand der ESP-Sensorik und den daraus resultierenden gemessenen oder abgeleiteten internen und externen Signalgrößen entschieden, ob eine für das LDE typische Fahrsituation vorliegt. Weiterhin wird überprüft, ob andere Teilsysteme des ESP oder das ESP selbst bereits über das Bremssystem in die Radbremsen 30 bis 33 eingreifen. In diesem Fall bleibt das LDE Regelungssystem passiv, d.h. es erfolgt kein Regelungseingriff durch das LDE Verfahren. Das Erkennen der Fahrsituation basiert auf den Größen Lenkwinkel (δ), Lenkwinkelgeschwindigkeit ($\dot{\delta}$), Bremsdruck (p_{main}), Fahrzeuggeschwindigkeit (v), Querneigungswinkel (α), Querbeschleunigung (a_{lat}), Kurvenradius und den Zuständen der ESP Fahrstabilitätsregelung ESP aktiv, ABS aktiv, ESP nicht aktiv, ABS nicht aktiv und ggf. weiterer Funktionen, wie z.B. die eines hydraulischen Bremsassistenten. Dabei wird eine aktivierte oder deaktivierte Regelungssituation in Abhängigkeit von einer teilgebremsten Geradeausfahrt und teilgebremsten Kurvenfahrt ermittelt. Die Struktur der Zustandsmaschine ist in Fig.1 veranschaulicht. Sie besitzt als Zustände die Regelungssituationen LDE bei teilgebremster Geradeausfahrt und LDE bei teilgebremster Kurvenfahrt, sowie den Ruhezustand „keine Regelungssituation“. Jeder Pfeil in dem Diagramm kennzeichnet einen erlaubten Zustandsübergang. Dieser Übergang wird aktiv, wenn die Ein- bzw. Austrittsbedingungen für die jeweilige Regelungssituation - erfüllt werden. Durch die eindeutige Formulierung und Zuweisung der Regelungssituationen in einer Zustandsmaschine kann es keine Überlagerungen zwischen den Funktionsbereichen oder Doppeldeutigkeiten geben und auch alle Übergänge können nur in der vorgeschriebenen Form erfolgen. Sobald eine der beiden akti-

ven LDE Regelungssituationen erreicht wurde, wird dem nachgeschalteten LDE Regler der Regelungseintritt zum Korrigieren bzw. Regeln der Abweichungen von der gewünschten Fahrspur erlaubt. Da nur eine Regelungssituation zur Zeit auftritt, kann der gleiche LDE Regler für beide Zustände verwendet werden, d.h. die Eigenschaften des Reglers können in Abhängigkeit von dieser Situation verändert werden (z.B. Eintrittstotzeiten, Ein- und/oder Austrittsschwellen (ggf. auch mittels eines quereschleunigungsabhängigen Ansatzes)). Die Bedingungen für die Zustandsübergänge „LDE keine Regelungssituation“ > „LDE teilgebremste Geradeausfahrt“ und umgekehrt (Ein- und Austrittsbedingungen) werden im Folgenden näher beschrieben. Bei einer teilgebremsten Geradeausfahrt müssen mehrere der folgenden Bedingungen, vorzugsweise alle, für eine aktivierte Regelungssituation (Eintritt) erfüllt sein:

ESP ist nicht aktiv,
ABS ist nicht aktiv, Geradeausfahrt ist ermittelt,

$\delta < k \text{ Grad}$, $\dot{\delta} < k_1 \text{ Grad/s}$, $p_{\text{main}} > k_2 \text{ bar}$, $v > k_3 \text{ km/h}$,

$\alpha < k_4 \text{ Grad}$,

mit den Schwellenwerten k bis k_4 , die empirisch ermittelt werden.

Der Austritt aus der aktivierten Regelungssituation mit einer Korrektur bzw. Regelung der Abweichungen von einer gewünschten Fahrspur erfolgt, wenn mindestens eine der Bedingungen erfüllt ist:

ESP ist aktiv

ABS ist aktiv

$\delta > k_{11} \text{ Grad},$

$\delta > k_{12} \text{ Grad / s},$

mit den Schwellenwerten k_{12} und k_{11}

Liegt nur eine aktivierte Regelungssituation ohne Korrektur bzw. Regelung der Abweichung von der gewünschten Fahrspur vor (LDE inaktiv), dann erfolgt der Austritt aus der aktivierten Regelungssituation, wenn mindestens eine der Bedingungen erfüllt ist:

$\delta > k \text{ Grad},$

$\delta > k_1 \text{ Grad / s},$

$p_{\text{main}} < k_2 \text{ bar},$

$v < k_3 \text{ km/h},$

$\alpha > k_4 \text{ Grad},$

eine Geradeausfahrt ist nicht ermittelt.

In Fahrversuchen hat sich ergeben, dass der LDE Regler für die Regelungssituation LDE bei teilgebremster Kurvenfahrt empfindlichere Eintrittsschwellen benötigt, als für Regelungssituation LDE bei teilgebremster Geradeausfahrt. Im Folgenden werden die Bedingungen für die Übergänge zwischen den Zuständen „LDE keine Regelungssituation“ und „LDE teilgebremste Kurvenfahrt“ beschrieben. Die nachfolgend genannten Bedingungen für den Eintritt der Regelungssituation „LDE teilgebremste Kurvenfahrt“ müssen vorzugsweise alle gleichzeitig erfüllt sein (Verundung).

Bei einer teilgebremsten Kurvenfahrt müssen für den Eintritt in die Regelung mehrere, vorzugsweise alle, der folgenden Bedingungen erfüllt sein:

- a) Standard ESP ist nicht aktiv
- b) ABS ist nicht aktiv
- c) Lenkwinkel δ ist kleiner als ein Schwellenwert (in Abhängigkeit von der Fahrzeuggeschwindigkeit [$\delta < f(v)$]), vorzugsweise drei Lenkwinkelschwellenwerte = (zwischen 2 und 30 Grad) für die drei Geschwindigkeiten = (zwischen 30 und 50 km/h, 100 und 140 km/h, 220 und 250 km/h) mit linearer Interpolation zwischen diesen Stützstellen)
- d) Lenkwinkelgeschwindigkeit $\dot{\delta}$ ist kleiner als ein Schwellenwert k_5
- e) Fahrervordruck p_{main} ist grösser als ein Schwellenwert k_6 , der ggf. in Abhängigkeit von der Querbefleunigung gebildet werden kann
- f) Fahrzeuggeschwindigkeit v ist grösser als ein Schwellenwert k_7
- g) Querneigungswinkel α der Fahrbahn ist kleiner als ein Schwellenwert k_8
- h) Querbefleunigung a_{ist} ist grösser als ein Schwellenwert k_9
- i) Kurvenradius ist grösser als ein Schwellenwert k_{10} , vorzugsweise 20 m
- j) ESP Situationserkennung erkennt eine Kurvensituation (konstant oder verzögert)
- k) Zeit nach Beginn der Bremsung überschreitet eine bestimmte Grenze nicht, vorzugsweise 3 Sekunden

Für die genaue Formulierung der Bedingung b) werden verschiedene Vorgehensweisen vorteilhaft vorgeschlagen. Eine Möglichkeit besteht darin, einen Eintritt nur zu erlauben, wenn generell an keinem Rad 15, 16, 20, 21 die Funktion ABS aktiv ist. Weiterhin wäre es möglich, nur dann aktiv zu werden, wenn an dem jeweiligen Rad, an dem LDE den Bremsdruckmodulieren will, die ABS Funktion noch nicht aktiv ist. Ebenso wäre es möglich, die Druckmodulation durch LDE an einer Achse nur dann zu erlauben, wenn an der gleichen Achse ABS noch nicht aktiv ist.

Bei einer teilgebremsten Kurvenfahrt erfolgt der Austritt aus dem Korrigieren bzw. Regeln von Abweichungen von einer gewünschten Fahrspur durch Einstellung bzw. Modifikation des eingesteuerten Bremsdrucks, wenn mindestens eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist (die Erfüllung einer Bedingung allein ist ausreichend; Veroderung):

- a) Standard ESP ist aktiv
- b) ABS ist aktiv
- c) Lenkwinkelgeschwindigkeit $\dot{\delta}$ ist grösser als ein Schwellenwert k_{12} Grad/s

Für die Bedingung b) gelten wiederum die oben beschriebenen Möglichkeiten. Sofern der LDE Regler noch nicht eine Korrektur bzw. Regelung einer Abweichung von der gewünschten Fahrspur durchgeführt hat, gelten für den Austritt aus der Regelungssituation (z.B. ist dieser Fall möglich, wenn die Eintrittsbedingungen der Regelungssituation erfüllt waren, die später noch zu beschreibende Regelabweichung jedoch unterhalb der Eintrittsschwelle des LDE lag) zusätzlich zu den

Bedingungen a) bis c) die folgenden Bedingungen, wobei eine der folgenden Bedingungen zum Austritt aus der aktivierten Regelungssituation erfüllt sein muss:

- l) Lenkwinkel δ ist grösser als ein von der Fahrzeuggeschwindigkeit abhängiger Schwellenwert $(f(v))$, vorzugsweise drei Lenkwinkelschwellenwerte = (zwischen 2 und 30 Grad) für die drei Fahrzeuggeschwindigkeiten = (zwischen 30 und 50 km/h, 100 und 140 km/h, 220 und 250 km/h) mit linearer Interpolation zwischen diesen Stützstellen)
- d) Lenkwinkelgeschwindigkeit $\dot{\delta}$ ist grösser als ein Schwellenwert k_{13} Grad/s
- e) Fahrervordruck p_{mahn} ist kleiner als ein Schwellwert k_{14} der ggf. in Abhängigkeit von der Querschleunigung gebildet werden kann
- f) Fahrzeuggeschwindigkeit v ist kleiner als ein Schwellwert k_{15} km/h)
- g) Querneigungswinkel α der Fahrbahn ist grösser als ein Schwellwert k_{16} Grad
- h) Querschleunigung a_{ist} ist kleiner als ein Schwellwert k_{17} m/s²
- i) Kurvenradius ist kleiner als ein Schwellwert k_{17} (vorzugsweise 20 m)
- j) ESP Situationserkennung erkennt keine Kurvensituation (konstant oder verzögert)
- k) Zeit t_p nach Beginn der Bremsung überschreitet einen bestimmten Schwellwert k_{18} Sekunden

Ist die Fahrsituation eindeutig erkannt, so kann die Regelung ausgeführt werden. Als Regelgröße dient hier die Gierrate $\dot{\psi}$ des Fahrzeugs, deren Abweichung vom modellierten Sollverhalten ein Maß für die Abweichung von der gewünschten Fahrspur darstellt, die auf ein Minimum reduziert werden soll. Im Vergleich zur ESP-Gierratenregelung erfolgt beim LDE der Eingriff schon bei wesentlich kleineren Regelabweichungen. Hierzu wird die nach ESP Fahrstabilitätskriterien gebildete ESP Regelschwelle (S_{ESP}) von der ESP Fahrstabilitätsregelung bei einer Geradeausfahrt mittels eines ersten und bei einer Kurvenfahrt mittels eines zweiten Korrekturfaktors ($k_{GERADE1}$, k_{KURVE2}) modifiziert.

Im Gegensatz zur konventionellen ESP-Regelung, bei dem das Zusatzgiermoment (siehe DE 195 15 059 A1) durch aktiven Druckaufbau am kurvenäußeren Vorderrad eingesteuert wird, erfolgt beim *Low Dynamic ESP* (LDE) die Stabilisierung des Fahrzeugs über die Längskraftreduktion durch Druckabbau an den kurveninneren Rädern. Es findet kein aktiver Druckaufbau statt. Die dabei angewandte selektive Pumpenansteuerung, die lediglich zum Überlaufschutz des Niederdruckspeichers dient, und die Minimierung der Ventilansteuerungen verbessern den Komfort nachhaltig. Die LDE-Aktivitäten sind so für den Fahrer kaum wahrnehmbar, so dass auch die Ansteuerung der ESP-Funktionslampe unterbleiben kann.

LDE-Eingriffe sind in der Regel ähnlich wie ESP-Übersteuereingriffe ausgelegt. Der Druckabbau im LDE erfolgt jedoch gleichzeitig an beiden kurveninneren Rädern, wobei das Hauptaugenmerk auf dem Abbaupotential an der Hinterachse liegt.

Während der eingestellten Druckdifferenz an der Vorderachse nach dem Verlassen der Regelung ausgeglichen wird, bleibt

die an der Hinterachse aufgebaute Druckdifferenz durch EBV auch nach der Regelung bestehen.

Die o.g. Abbauten werden abhängig von der Dynamik und dem Ausmaß des Schiefziehens umgesetzt. Darüber hinaus beinhaltet LDE eine Reihe von Maßnahmen um ungerechtfertigte Regelungen infolge der kurzzeitigen und permanenten Signalstörungen bzw. Fehlerkennungen zu vermeiden.

Zur Optimierung der Übergänge vom LDE ins ESP werden im Hinblick auf eine komfortablere Regelung die Eintrittsschwellen des ESP aufgeweitet, so dass ein ESP-Eingriff erst bei größeren Instabilitäten, die allein durch einen Druckabbau nicht zu kompensieren sind, erfolgt

Patentansprüche:

1. Verfahren zur Verbesserung der Fahreigenschaft eines Fahrzeugs bei teilgebremster Fahrt, **gekennzeichnet** durch eine Fahrstabilitätsregelung zum Korrigieren bzw. Regeln von Abweichungen von einer gewünschten Fahrspur die so ausgebildet ist, dass der Eintritt in eine aktivierte und der Austritt aus einer aktivierten Regelsituation in Abhängigkeit von Bedingungen, die nach Maßgabe von einer Geradeausfahrt und einer Kurvenfahrt ermittelt werden, durchgeführt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **mit den Schritten** Ermitteln von internen und externen Größen und Zuständen die Fahrzustandsparameter und den Spurverlauf des Fahrzeugs wiedergeben, Ermitteln einer aktiven Regelungssituation bzw. eines Eintritts in eine Regelung in Abhängigkeit von einer Geradeausfahrt oder einer Kurvenfahrt unter Einbeziehung der internen und externen Größen und Zustände, und Korrigieren bzw. Regeln von Abweichungen von einer gewünschten Fahrspur durch Einstellung bzw. Modifikation des eingesteuerten Bremsdrucks, wenn mindestens ein Schwellenwert, der nach Maßgabe der Drehung um die Hochachse des Fahrzeugs ermittelt wird, überschritten wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch **gekennzeichnet** dass die internen und externen Größen mit Schwellenwerten verglichen werden und eine Bewertung der Zustände derart erfolgt, ob die Zustände der Fahrstabilitätsregelung aktiviert oder deaktiviert sind.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch **gekennzeichnet**, dass die internen und externen Größen und Zustände, der Lenkwinkel (δ), die Lenkwinkelgeschwindigkeit ($\dot{\delta}$), der Bremsdrucks (p_{main}), die Fahrzeuggeschwindigkeit (v), der Querneigungswinkel (α), die Querbefleunigung (a_{ls}), der Kurvenradius und Regelungszustände einer Fahrstabilitätsregelung sind.
5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch **gekennzeichnet**, dass der Schwellenwert nach Maßgabe von der Geradeausfahrt oder der Kurvenfahrt ermittelt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch **gekennzeichnet**, dass der Schwellenwert von einer ESP Fahrstabilitätsregelung nach ESP Fahrstabilitätskriterien gebildet wird und der Schwellenwert (S_{ESP}) bei einer Geradeausfahrt mittels eines ersten und bei einer Kurvenfahrt mittels eines zweiten Korrekturfaktors ($k_{GERADE1}$, k_{KURVE2}) modifiziert wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch **gekennzeichnet**, dass bei einer teilgebremsten Geradeausfahrt der Eintritt G_{in} in die Regelung nach der Beziehung $G_{in} = f(\delta, \dot{\delta}, p_{main}, v, \alpha)$ erfolgt, wenn eine oder mehrere der weiteren folgenden Bedingungen erfüllt sind:

ESP ist nicht aktiv

ABS ist nicht aktiv

Geradeausfahrt ist ermittelt.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch **gekennzeichnet**, dass bei einer teilgebremsten Geradeausfahrt der Eintritt in die Regelung erfolgt, wenn mehrere der folgenden Bedingungen erfüllt sind:

$$\delta < k \text{ Grad}, \dot{\delta} < k_1 \text{ Grad/s}, p_{\text{main}} > k_2 \text{ bar}, v > k_3 \text{ km/h},$$

$$\alpha < k_4 \text{ Grad},$$

mit den Schwellenwerten k bis k_4 .

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch **gekennzeichnet**, dass bei einer teilgebremsten Kurvenfahrt der Eintritt K_{in} in die Regelung nach der Beziehung $K_{in} = f(\delta, \dot{\delta}, p_{\text{main}}, v, \alpha, a_{\text{ist}})$ erfolgt, wenn eine oder mehrere der folgenden Bedingungen erfüllt sind:

Kurve ist ermittelt

$$\text{Kurvenradius} > k_{10} \text{ m, vorzugsweise} > 20 \text{ m}$$

Übersteuer n ist ermittelt

ESP ist nicht aktiv

ABS ist nicht aktiv

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch **gekennzeichnet**, dass bei einer teilgebremsten Kurvenfahrt der Eintritt in die Regelung erfolgt, wenn mehrere der folgenden Bedingungen erfüllt sind:

-26-

$$\delta < f(v) \text{ Grad}, \dot{\delta} < k_5 \text{ Grad/s}, p_{\text{main}} > k_6 \text{ bar}, v > k_7 \text{ km/h},$$

$$\alpha < k_8 \text{ Grad}, a_{\text{ist}} > k_9 \text{ m/s}^2,$$

mit den Schwellenwerten k_5 bis k_9 und $f(v)$.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch **gekennzeichnet**, dass bei einer teilgebremsten Geradeausfahrt der Austritt aus dem Korrigieren bzw. Regeln von Abweichungen von einer gewünschten Fahrspur durch Einstellung bzw. Modifikation des eingesteuerten Bremsdrucks erfolgt, wenn mindestens eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist

ESP ist aktiv

ABS ist aktiv

$$\delta > k_{11} \text{ Grad},$$

$$\dot{\delta} > k_{12} \text{ Grad/s},$$

mit den Schwellenwerten k_{12} und k_{11}

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch **gekennzeichnet**, dass bei einer teilgebremsten Geradeausfahrt der Austritt aus der aktivierten Regelsituation, ohne dass ein Korrigieren bzw. Regeln von Abweichungen von einer gewünschten Fahrspur stattgefunden hat, erfolgt, wenn mindestens eine der folgenden weiteren Bedingungen erfüllt ist:

-27-

$$\delta > k \text{ Grad},$$

$$\dot{\delta} > k_1 \text{ Grad/s},$$

$$p_{\text{main}} < k_2 \text{ bar},$$

$$v < k_3 \text{ km/h},$$

$$\alpha > k_4 \text{ Grad},$$

eine Geradeausfahrt ist nicht ermittelt.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4 oder 6, dadurch **gekennzeichnet**, dass bei einer teilgebremsten Kurvenfahrt der Austritt aus dem Korrigieren bzw. Regeln von Abweichungen von einer gewünschten Fahrspur durch Einstellung bzw. Modifikation des eingesteuerten Bremsdrucks erfolgt, wenn mindestens eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:

ESP ist aktiv

ABS ist aktiv

$$\dot{\delta} > k_{12} \text{ Grad/s}.$$

14. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch **gekennzeichnet**, dass bei einer teilgebremsten Kurvenfahrt der Austritt aus der aktivierten Regelungssituation, ohne dass ein Korrigieren bzw. Regeln von Abweichungen von einer gewünschten Fahrspur stattgefunden hat, erfolgt, wenn mindestens eine der folgenden weiteren Bedingungen erfüllt ist:

$\delta > f(v)$, d.h. der Lenkwinkel ist größer als ein von der Fahrzeuggeschwindigkeit abhängiger Schwellenwert,

mit linearer Interpolation zwischen diesen Stützstellen)

$$\dot{\delta} > k_{13} \text{ Grad/s},$$

$p_{\text{main}} < k_{14}$, ggf. in Abhängigkeit von der Querbewegung

$$v < k_{15} \text{ km/h},$$

$$\alpha > k_{16} \text{ Grad},$$

$$a_{\text{ist}} < k_{17} \text{ m/s}^2,$$

$$\text{Kurvenradius} < k_{17} \text{ m, vorzugsweise} < 20 \text{ m}$$

ESP ist nicht aktiv, {ESP Situationserkennung erkennt keine Kurvensituation (konstant oder verzögert)}

$$t_p > k_{18} \text{ s},$$

mit den Schwellenwerten k_{13} bis k_{18} und $f(v)$.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch **gekennzeichnet**, dass keine Einstellung bzw. Modifikation des Bremsdrucks erfolgt, wenn zuvor nicht die Bedingungen nach den Ansprüchen 7, 8 oder 9, 10 erfüllt sind.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch **gekennzeichnet**, dass das Korrigieren bzw. Regeln von Abweichungen von der gewünschten Fahrspur durch Einstellung bzw. Modifikation des eingesteuerten Bremsdrucks über eine Längskraftreduktion durch Druckabbau an mindestens einem kurveninneren Rad, vorzugsweise am

kurveninneren Hinterrad, erfolgt.

17. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch **gekennzeichnet**, dass der Druckabbau an den beiden kurveninneren Rädern erfolgt.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch **gekennzeichnet**, dass die durch den Druckabbau eingestellte Druckdifferenz an der Hinterachse bei der elektronischen Bremskraftverteilung (EBV) beibehalten wird.

Zusammenfassung

Verfahren zur Verbesserung der Fahreigenschaft eines Fahrzeugs

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Verbesserung der Fahreigenschaft eines Fahrzeugs bei teilgebremster Fahrt, gekennzeichnet durch eine Fahrstabilitätsregelung zum Korrigieren bzw. Regeln von Abweichungen von einer gewünschten Fahrspur die so ausgebildet ist, dass der Eintritt in eine aktivierte und der Austritt aus einer aktivierten Regelsituation in Abhängigkeit von Bedingungen, die nach Maßgabe von einer Geradeausfahrt und einer Kurvenfahrt ermittelt werden, durchgeführt wird.

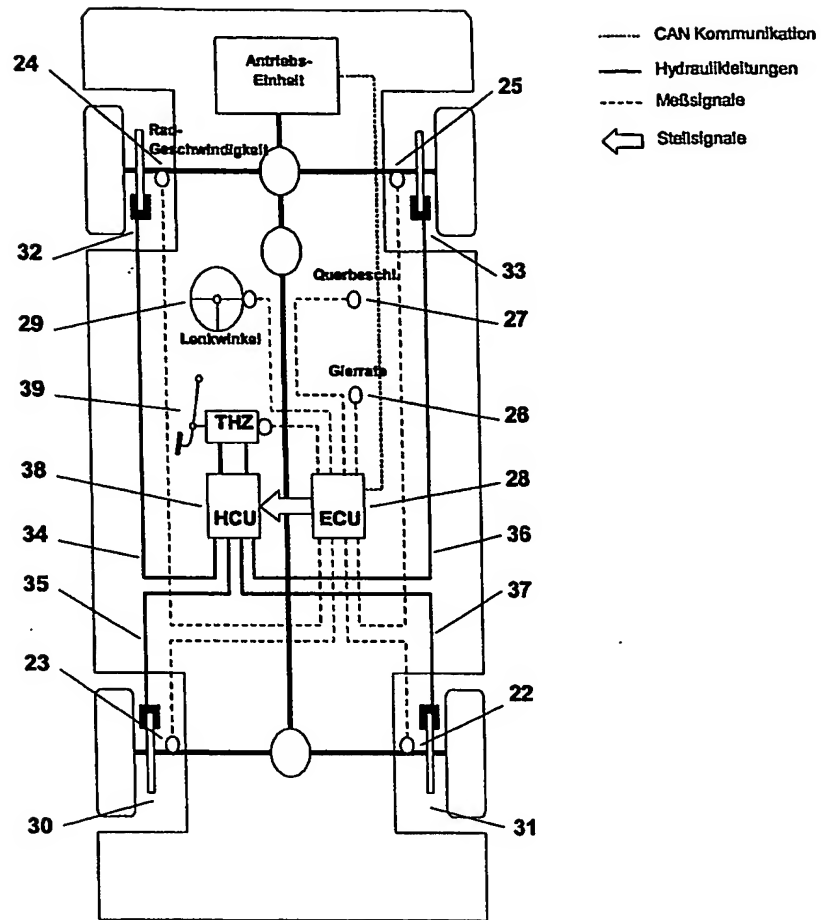
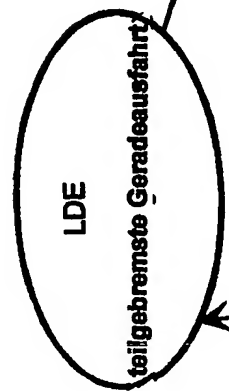


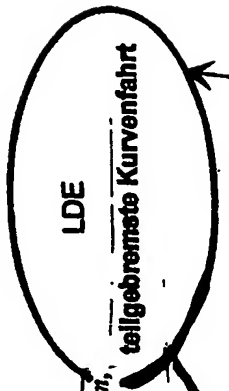
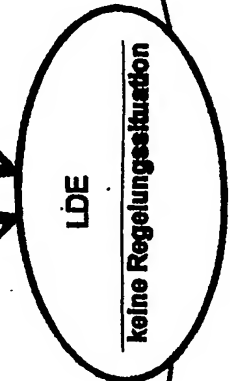
Fig. 1: Fahrzeug mit Bremsregelsystem und ESP-Sensorik

Fig. 2

ESP ist aktiv
 ABS ist aktiv
 $\delta > k_{11}$ Grad,
 $\delta > k_{12}$ Grad / s,
 LDE inaktiv
 $(\delta > k_{13}$ Grad / s,
 $\delta < f(v)$ Grad,
 $p_{max} < k_{14}$ bar,
 $v < k_{15}$ km / h,
 $\alpha > k_{16}$ Grad,
 $p_{max} < k_2$ bar,
 $v < k_3$ km / h,
 $\alpha > k_4$ Grad,
 eine Geradeausfahrt ist
 nicht ermittelt)



ESP ist nicht aktiv
 ABS ist nicht aktiv
 Geradeausfahrt ist ermittelt
 $\delta < k$ Grad,
 $\delta < k_1$ Grad / s,
 $p_{max} > k_2$ bar,
 $v > k_3$ km / h,
 $\alpha < k_4$ Grad,



Kurve ist ermittelt
 Kurvenradius $> k_{10}$ m,
 Übersteuer n ist ermittelt
 ESP ist nicht aktiv
 ABS ist nicht aktiv
 $v > k_7$ km / h,
 $\delta < f(v)$ Grad,
 $\delta < k_8$ Grad / s,
 $p_{max} > k_9$ bar,
 $\alpha < k_6$ Grad,
 $a_{ax} > k_9$ m / s²,